

CICLO D'ISTERESI DI UN MATERIALE FERROMAGNETICO

Le proprietà delle sostanze ferromagnetiche sono descritte dal *ciclo d'isteresi*, che -con riferimento al testo adottato (Mazzoldi, Nigro, Voci: Elettromagnetismo) - consiste in un *diagramma di stato* (§ 7.5), in cui è riportato, in funzione del campo H , il campo magnetico B presente all'interno del *materiale* ferromagnetico.

Lo schema del dispositivo sperimentale per la rilevazione del ciclo d'isteresi è mostrato in figura 1. Esso è composto da due solenoidi lunghi 180 mm di $N_1 = 583$ spire ciascuno, distanti ad un estremo $h = 0.7$ mm, collegati in serie e attraversati da una corrente i ; il materiale da analizzare è composto da due barre di ferro (diametro $\phi = 12$ mm). Il sistema nel suo complesso può quindi essere pensato, con buona approssimazione, come un *solenoido indefinito* (esempio 7.3), con un numero di spire per unità di lunghezza $n \cong 3240$ spire/m costante, con al centro una cavità sottile (*traferro*) di spessore $h = 0.7$ mm, perpendicolare al campo magnetico \mathbf{B} . La cavità è necessaria per poter posizionare al suo interno un rivelatore per la misura del campo magnetico B_c , che coincide, per la proprietà del campo magnetico \mathbf{B} di essere *solenoidale*, con il campo magnetico B all'interno del materiale ferromagnetico ($B = B_c$). Tale rivelatore è costituito da una *sonda di Hall* (§ 6.6), in cui la misura del campo magnetico B , ricordiamolo, è ricondotta alla misura della *tensione di Hall* E_H che si manifesta ai capi di un conduttore sottile (spessore $0.5 \div 0.65$ mm) percorso da corrente, quando è sottoposto all'azione di un campo magnetico \mathbf{B} , nella direzione perpendicolare al verso della corrente che lo percorre e a \mathbf{B} ; la tensione misurata $E_H = \alpha B$ è direttamente proporzionale al valore di B (6.18). La sonda di Hall è stata precedentemente tarata, per cui il valore di B in Gauss ((§ 6.3), $1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$) viene letto in forma digitale su un contatore in dotazione.

Il campo H viene fatto variare mediante il reostato R che regola la corrente i che percorre il solenoide; nel caso il solenoide fosse *senza traferro* ($h = 0$), esso sarebbe, (7.28) e (7.30):

$$H = ni = 3.24 \cdot 10^3 \frac{\text{A}}{\text{m}} . \quad (1)$$

Si costruisce un diagramma, *ciclo d'isteresi* (Fig.2) in cui per ogni valore di i (H) si riporta il corrispondente valore di B misurato.

Osservazione: *la presenza del traferro- per quanto di spessore $h = 0.7$ mm molto piccolo rispetto alla lunghezza del ferro $L = 360$ mm, ($h/L \approx 2 \cdot 10^{-3}$) - comporta che, per un certo valore di B misurato in corrispondenza di un certo valore della corrente i , il campo H' nel ferro risulta minore del campo H calcolato secondo la (1). La teoria completa-che non viene sviluppata durante il corso di Fisica II- permette di calcolare il campo H' effettivamente presente nel materiale ferromagnetico. Tuttavia la differenza tra H' e H non risulta tale da modificare sostanzialmente la forma del ciclo d'isteresi, per cui il diagramma (H, B) dà, in ogni caso, una buona rappresentazione delle caratteristiche più peculiari del materiale ferromagnetico analizzato.*

PROCEDURA DI RILEVAZIONE DEL CICLO D'ISTERESI.

Occorre innanzitutto verificare che il materiale sia allo *stato vergine*, per cui per $i = 0$ ($H = 0$) deve risultare $B = 0$. Nel caso che per $i = 0$ risultasse $B \neq 0$, ovvero il campione avesse una certa *magnetizzazione*, il dispositivo sperimentale è dotato di un dispositivo (SMAG), segnalato sul banco, per ricondursi a questa situazione, ossia per *smagnetizzare* il campione.

Si parte dunque da $i = 0$, ($H = 0$), $B = 0$, e si fissa, agendo sul reostato R una corrente $i = 200$ mA, letta in forma digitale su un contatore; si misura B (in gauss) rilevandolo sul contatore digitale e si riportano i due valori (i, B) in una tabella e su un diagramma del tipo mostrato in Fig.2. Si aumenta quindi la corrente di $\Delta i = 200$ mA, si misura B e si riportano i nuovi valori di (i, B), in tabella e sul diagramma. Si procede aumentando la corrente a passi di $\Delta i = 200$ mA, *sempre nello stesso verso*, fino al valore massimo consentito $i_{\max} = 2$ A, a cui corrisponde il valore B_{\max} misurato. Resta in tal modo determinato il primo tratto di curva ($O \rightarrow P$) del ciclo d'isteresi, noto come *curva di prima magnetizzazione*.

Si comincia a diminuire la corrente, sempre a passi di $\Delta i = 200$ mA e *sempre nello stesso verso*, fino a $i = 0$, misurando i corrispondenti valori (i, B) e riportandoli in tabella e nel grafico. In tal modo si sarà rilevato il tratto ($P \rightarrow Q$) del ciclo d'isteresi.

Un commutatore permette di invertire il verso della corrente i che percorre il solenoide, (permettendo così di invertire, in base alla (1), il verso di H). Si procede come prima diminuendo la corrente sempre a passi di $\Delta i = 200$ mA fino al valore massimo $-i_{\max} = -2$ A, a cui corrisponde $-B_{\max}$ misurato, determinando in tal modo il tratto ($Q \rightarrow R$) del ciclo d'isteresi.

Si fa aumentare ora la corrente, sempre a passi di $\Delta i = 200$ mA, da $-i_{\max} = -2$ A, a $i = 0$, rilevando i corrispondenti valori di B ; si inverte il verso della corrente e si procede con lo stesso metodo da $i = 0$ a $i_{\max} = +2$ A. Alla fine resta determinato il tratto ($R \rightarrow P$), completando il ciclo d'isteresi.

I valori del campo H possono essere riportati nel grafico, in corrispondenza della corrente i , utilizzando la (1).

Osservazioni:

a) *sebbene per la lettura del campo B (in gauss), siano disponibili quattro cifre, soltanto le prime due sono significative, per cui si arrotondano i valori letti alla centinaia; la scala scelta per la rappresentazione grafica riflette questa considerazione;*

b) *i punti (i, B) che si riportano sul grafico possono essere soggetti ad un certo errore determinato dagli strumenti utilizzati (l'amperometro A per quanto riguarda la corrente i , la sonda di Hall per B). Nel tracciare la curva che meglio approssima "ad occhio" i punti sperimentali occorre tener presente che, in ogni caso, fisicamente, trattasi di una curva continua variabile monotonamente, non soggetta quindi a variazioni brusche (discontinue), che potrebbero erroneamente essere suggerite dai punti riportati.*

OSSERVAZIONI E SPUNTI DI RIFLESSIONE.

a) Per un certo valore di H esistono più valori di B : tutti quelli compresi tra i valori massimi assunti sul diagramma (§ 7.5).

b) Per un certo valore di H esistono più valori della permeabilità magnetica relativa:

$$\kappa_m = B/\mu_0 H, \quad (2)$$

(con B in T, H in A/m e $\mu_0/4\pi = 10^{-7}$ H/m), che risulta quindi funzione di H : $\kappa_m = f(H)$, (al contrario di quanto avviene nei *materiali diamagnetici e paramagnetici*).

c) Per $H = 0$, risulta $B_r \neq 0$, ovvero il materiale ha una *magnetizzazione residua*:

$$B_r = \mu_0 M_r \quad (3)$$

valutabile dal diagramma.

d) Per $B = 0$, $H = H_c$, *campo coercitivo*, valutabile dal diagramma.

Schema del dispositivo

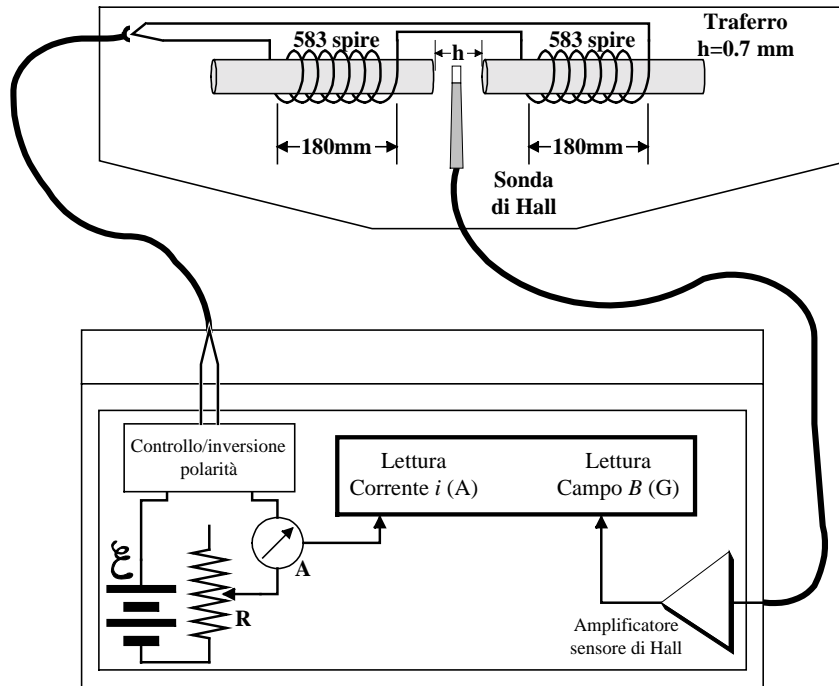


Fig. 1

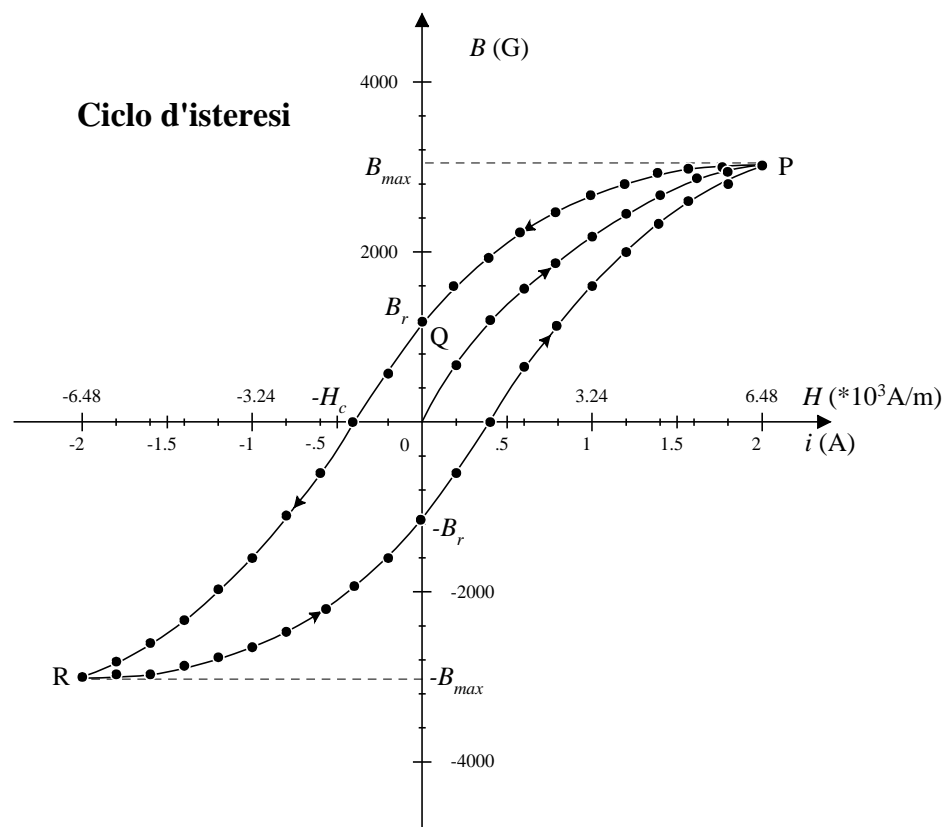


Fig. 2

LAUREA IN INGEGNERIA.....

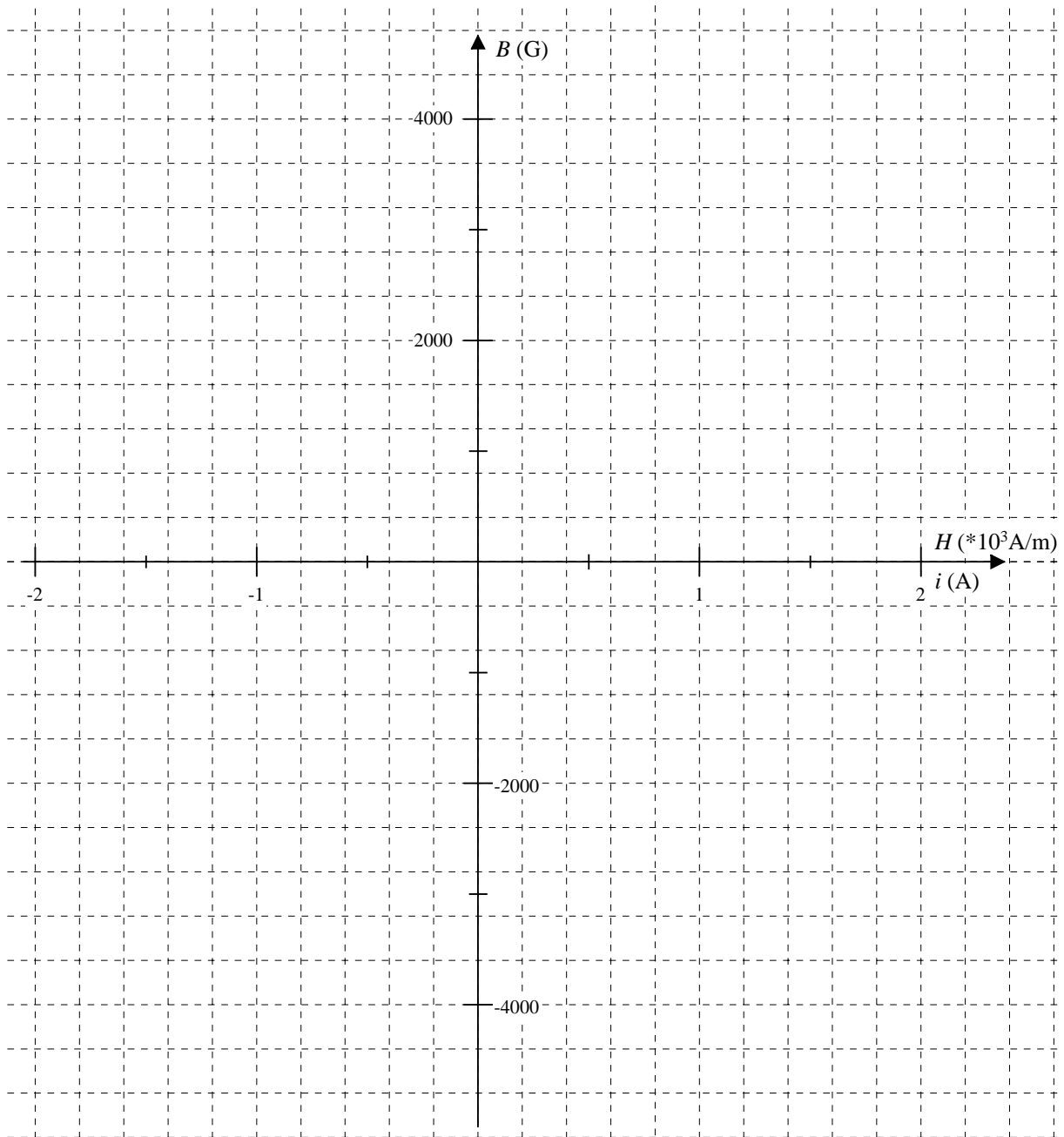
Cognome.....Nome.....matr.....

Cognome.....Nome.....matr.....

Cognome.....Nome.....matr.....

Tabella delle misure del ciclo d'isteresi di un materiale ferromagnetico.

$i(A)$	$B(G)$	$i(A)$	$B(G)$	$i(A)$	$B(G)$
↔		↔		↔	
0		0		0	
0.2		-0.2		0.2	
0.4		-0.4		0.4	
0.6		-0.6		0.6	
0.8		-0.8		0.8	
1.0		-1.0		1.0	
1.2		-1.2		1.2	
1.4		-1.4		1.4	
1.6		-1.6		1.6	
1.8		-1.8		1.8	
2.0		-2.0		2.0	
1.8		-1.8			
1.6		-1.6			
1.4		-1.4			
1.2		-1.2			
1.0		-1.0			
0.8		-0.8			
0.6		-0.6			
0.4		-0.4			
0		0			



Alcune valutazioni direttamente dal ciclo d'isteresi

(conversione gauss→tesla 1000G→0.1T)

a) valutare il valore di κ_m per alcuni valori di i (di H):

per $i=0.5$ A, $H=1.62 \cdot 10^3$ A/m	$\kappa_m \cong$	$\kappa_m \cong$	$\kappa_m \cong$
per $i=1$ A, $H=3.24 \cdot 10^3$ A/m	$\kappa_m \cong$	$\kappa_m \cong$	$\kappa_m \cong$
per $i=1.5$ A, $H=4.86 \cdot 10^3$ A/m	$\kappa_m \cong$	$\kappa_m \cong$	$\kappa_m \cong$

b) valutare il valore di $B_r = \mu_0 M_r \cong$ A/m

c) valutare il valore del campo coercitivo $H_c \cong$ A/m